

PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS NA RECICLAGEM E TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENT USING SEPARATION PROCESS WITH MEMBRANES.

M T Pessoa de Amorim

RESUMO

Numa era em que a destruição de determinados recursos naturais começa a se constituir numa ameaça e em que o desenvolvimento sustentável é a palavra de ordem, a implantação de tecnologias mais limpas e o tratamento das águas residuais tornou-se um dos problemas mais prementes da indústria.

O projecto de sistemas de reciclagem e tratamento de efluentes líquidos de uma unidade industrial tem como pressuposto o conhecimento dos níveis de qualidade da água para cada processo e as normas a que deve obedecer a descarga final de águas residuais em meios aquáticos ou no solo.

A primeira etapa é a análise quantitativa e qualitativa da água consumida e rejeitada, seguida da definição dos balanços de massa dos diversos processos. Este passo deve permitir definir melhores regras de operação, identificar medidas internas que minimizem o consumo de água e a carga poluente rejeitada, assim como avaliar as consequências tecnológicas e económicas resultantes da adopção de novas tecnologias no processo de produção.

A fase seguinte incide na abordagem das medidas externas necessárias para a unidade industrial cumprir as normas de rejeição do efluente final, a concepção do sistema de tratamento.

Actualmente, quando da hierarquização e avaliação das diversas soluções propostas para efectuar a reciclagem e o tratamento de efluentes, a técnica de separação com membranas é proposta como uma das soluções tecnológicas mais adequada.

A aplicação destes processos na indústria têxtil iniciou-se nos anos setenta nos EUA, sendo pioneiro o trabalho desenvolvido na Universidade de Clemson, NC, nomeadamente pelo professor J. F. Porter. No final dessa década a aplicação das membranas na recuperação de produtos do sector têxtil, nomeadamente os encolantes começa a generalizar-se. Em simultâneo, o grupo do Instituto Têxtil de Denkendorf na Alemanha liderado pelo professor J. Trauter e o grupo da Universidade de Natal na África do Sul, que tem como líder o professor C. A. Buckley que desenvolvem trabalhos de destaque e relatam a implantação de sistemas de membranas na recuperação de produtos no sector têxtil.

Recentemente, os trabalhos de investigação em curso e as aplicações industriais apresentam um crescimento em exponencial, quer pelo desenvolvimento de novas membranas mais resistentes e com uma maior selectividade e fluxo, quer pelo decréscimo no custo das membranas e respectivos módulos.

Uma nova vertente da investigação centra-se na modificação de membranas de forma a diminuir o fouling permitindo assim um acréscimo da performance das membranas.

Nesta comunicação é apresentado um resumo histórico da aplicação das membranas na reciclagem e recuperação de produtos e água no sector têxtil e os novos desenvolvimentos no sector, com destaque para os trabalhos desenvolvidos na Universidade do Minho relativos à modificação de membranas e ao tratamento de efluentes do processo de tingimento com corantes reactivos.

Palavras chave: , encolantes, separação por membranas, indústria têxtil, recuperação, reciclagem.

ABSTRACT

In a time in which destruction of certain natural resources has become a threaten to the world, and in which sustainable development has become a must, the use of cleaner technologies and the treatment of effluents have become one or the most important problems of this industry.

The project of recycling systems and liquid effluent treatment of an industrial unity demands awareness of the water quality to be used in each process and the standards regulating the final effluent water discharge into water bodies or on the soil.

The first step is a quantitative and qualitative analysis of the water used and thrown out, followed by definition of the mass equilibrium of the various processes. In this step better operational rules should be defined, as well as identification of internal decisions to minimize the water consumption and the rejected pollution load. The technological and economic consequences resulting from the adoption of new technologies in the production process should be evaluated.

The following phase approaches the external decisions necessary for the industrial unit to follow the standards set up for the final effluent discharge and the design of the treatment system.

Presently, as a result of the hierarchy and evaluation of the proposed solutions for establishing effluent recycling and treatment, the technique using separation by membranes is proposed as one of the adequate technological solutions to solve this problem.

Application of this process started in the 70's in the USA, and Prof. J. F. Porter' work, developed at Clemson University in North Caroline, was pioneer in this field. At the end of this decade application of membranes for recovery of products from the textile sector, namely the sizing agents, became generalized. Simultaneously, the work team of the Textile Institute of Denkendorf in Germany, led by Prof. J. Trauter, as well as the work team led by Prof. C. A. Buckley at the University of Natal, in South Africa developed works in this area in which they describe the use of membrane systems for recovery of products in the textile sector.

Recently, the current research works and the industrial applications have shown an exponential growth, either by the development of new membranes, with higher strength and providing higher flux selectivity, or by a decrease in the cost of the membranes and respective modules.

A new aspect of the research is focused on the membrane modification so as to decrease the fouling, thus allowing them a better performance.

In this work a historical summary of the membrane applications in recycling and recovering of products and water from the textile industries, as well as the new developments in this sector, with emphasis on the works developed at the University of Minho, Portugal, relating modification of the membranes and the effluent treatment from the dyeing processes with reactive dyes is described.

Keywords: size, membrane separation, textile industry, recovery, recycling.

1. TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

As técnicas de separação com membranas no sector têxtil podem ser encontradas em sistemas de tratamento de águas de alimentação, integradas em processos de forma a permitir a recuperação e reciclagem de químicos e água durante o processo produtivo e complementando sistemas de tratamento de efluentes.

Quando se pretende tratar ou reciclar água o sistema de tratamento implantado deverá cumprir o objectivo de obter uma água com a qualidade exigida para o sector, no presente contexto para a indústria têxtil. A definição das características da água para o processo têxtil tem sido objecto de vários projectos. Na maioria dos casos pode-se estabelecer um valor mínimo para os parâmetros que afectam do forma mais significativa os processos de enobrecimento. Contudo, sempre que se pretenda implantar sistemas de reciclagem ou de reutilização de água nas empresas é recomendável proceder a ensaios à escala laboratorial e ou à escala piloto de forma a assegurar a reprodutividade e qualidade de processos e materiais.

Na tabela 1 são apresentadas as concentrações máximas admissíveis para os principais parâmetros da água para ser utilizada nos processos de enobrecimento de empresas têxteis, (1 e 2).

Tabela 1: Características da água para o processo têxtil, (adaptado de 1 e 2)

Parâmetro	Concentração máxima aceitável [mg.L ⁻¹]
Turvação	5
Sólidos suspensos totais	5
Cor	10 unidades Hazen
Alcalinidade	100
Dureza	70 (CaCO ₃)
Ferro	0.1
Manganês	0.05
Cobre	0.01

Metais pesados	0.01
Alumínio	0.25
Silica	10
Sulfatos	250
Sulfuretos	1
Cloretos	250
Dióxido de carbono	50
Nitritos	0.5
Cloro	0.1
Amoníaco	0.5
Sólidos totais	500
Detergentes	1
CQO	50

Os sistemas de separação com membranas na indústria têxtil permitem a recuperação de produtos químicos, tais como os encolantes ou gomas, sais, detergentes, soda caustica, corantes e latex, recuperar calor, e reduzir a quantidade de água fresca necessária, volume de efluente a tratar e consequentemente os custos de tratamento ou taxas de saneamento. A estes está associada uma diminuição de custos de capital em sistemas de tratamento e de operação nas estações de tratamento quer pelo manuseamento de um menor volume de água quer pela redução de produtos químicos necessários ao tratamento.

1.1 Recuperação de produtos

A primeira aplicação industrial de membranas na recuperação de produtos no sector têxtil, remonta a 1973 na empresa JP Stevens em Clemson na Carolina do Sul, EUA, com a instalação de uma unidade de ultrafiltração para a recuperação de encolantes, o poli(álcool de vínilo) (3 e 4). A descrição completa do sistema de recuperação instalado em 1973 pela empresa Gaston County Machine Company of Gaston Country, NC, EUA e o seu comportamento durante a década de oitenta e noventa foi apresentada num artigo de JJ Porter publicado em 1998 (5). Esse artigo são descritas instalação e sistemas mais recentes com membranas dinâmicas formadas localmente e com módulos em espiral para a recuperação de produtos de encolagem. O estudo também incluiu a respectiva avaliação técnico económica dos processos e mostra as vantagens da utilização de sistemas de automação em instalações de reciclagem.

No início da década de oitenta, no Instituto Têxtil de Denkendorf na Alemanha, os trabalhos de investigação desenvolvidos por J. Trauter contribuíram de forma significativa para clarificar as alterações sofridas pelos encolantes durante o processo de desencolagem, recuperação por ultrafiltração e encolagem, e as suas implicações na tecelagem (6,10).

Na Universidade de Natal na África do Sul o professor Buckley, e o seu grupo, no trabalho intitulado “A guide for the planning, design and implementation of wastewater treatment plant in the textile industry” abordam de forma detalhada a metodologia a seguir quando se pretende instalar sistemas de filtração com membranas, nomeadamente na recuperação de produtos de encolagem (11).

Os trabalhos de investigação desenvolvidos em Portugal e no Brasil relativos à recuperação dos encolantes, com diversos tipos de membranas, e à implementação de sistemas de recuperação em empresas têxteis foram divulgados em artigos científicos e comunicações em congressos (12-15).

Na figura 1 é apresentado esquematicamente o processo com membranas para recuperação do poli(álcool de vínilo) da água de desencolagem e posterior reutilização do encolante.

Com as tecnologias de membranas as economias obtidas advêm da redução de goma nova necessária, da redução na carga poluente rejeitada, do calor recuperado das águas de lavagem, da diminuição do consumo de água e redução na quantidade de resíduos sólidos, nomeadamente no numero de contentores de goma virgem.

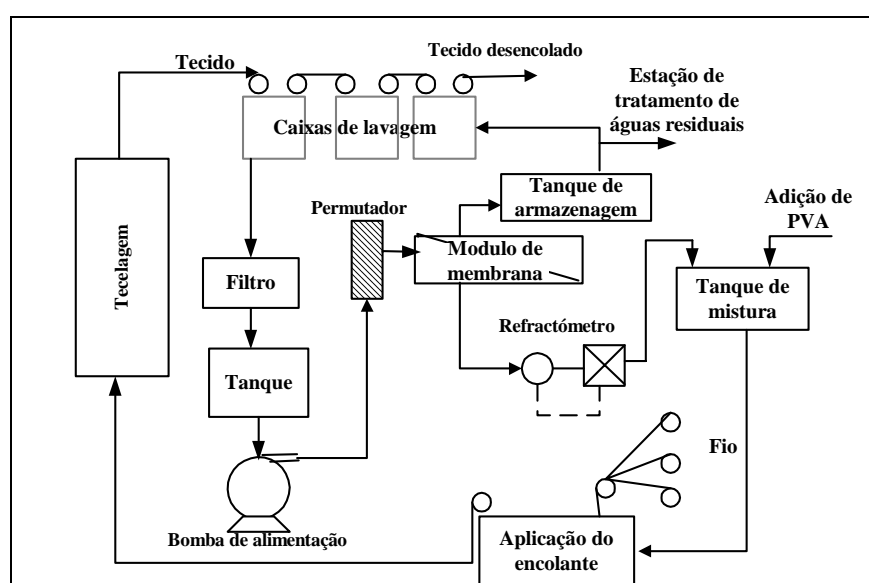


Figura 1: Esquema do processo de recuperação do PVA e da operação de desencolagem, adaptado de 5.

Em todos os trabalhos consultados relativamente à avaliação técnico económica do processo é mencionado como tempo necessário para a amortização dos sistemas de recuperação um a dois anos (4-11).

A segunda aplicação industrial de sistemas com membranas no sector têxtil desenvolvida com sucesso foi a recuperação corantes de cuba, designadamente o índigo .

No tingimento com índigo apenas 80% do corante é fixado ao substrato têxtil sendo os restantes 20% removidos por lavagem. Na forma oxidada o índigo é insolúvel em água, encontrando-se sob a forma pigmentar e pode ser reconcentrado por membranas de micro ou ultrafiltração. O concentrado, pode ser reutilizado no processo de tingimento desde que não estejam presentes outros corantes, nomeadamente de enxofre (8).

Em meados dos anos oitenta começaram a ser testadas membranas de nanofiltração na reconcentração do hidróxido de sódio da água de lavagem pós mercerização (16). Este processo foi testado à escala piloto, permitindo recuperar, no mínimo 95% do hidróxido de sódio, dos banhos de lavagem, não sendo do nosso conhecimento a aplicação deste processo à escala real em empresas têxteis.

No final dos anos noventa são relatados os primeiros exemplos da recuperação de sais, nomeadamente de cloreto e sulfato de sódio com membranas em águas residuais resultantes do processo de tingimento e lavagens posteriores (17-18). A última inovação é o processo de tratamento de efluentes de tinturaria desenvolvido pela sociedade Clariant em colaboração com o Laboratório de Processos Limpos e Ambiente da Universidade de Aix em Marselha, França que permite reciclar a água e a solução salina em processos de tingimento com corantes reactivos (18). O procedimento proposto inclui uma reformulação do processo de tingimento que permita a utilização de soluções salinas concentradas, sem alteração das características do substrato têxtil tingido.

1.2 Reciclagem de água

A identificação dos sistemas de reciclagem de água a instalar em empresas resulta da análise quantitativa e qualitativa da água consumida e rejeitada, seguida da definição dos balanços de massa dos diversos processos. Este passo deve permitir definir melhores regras de operação, assim como avaliar as consequências tecnológicas e económicas resultantes da adopção de novas tecnologias no processo de produção.

No contexto deste trabalho apresentam-se três alternativas: a instalação do sistema membranas com vista à recuperação de água num determinado processo, nos efluentes com baixa carga poluente resultantes da segregação das águas residuais da empresa ou no efluente final.

Cada situação deverá ser analisada com base em critérios de avaliação, previamente definidos quer quanto ao sistema de membranas – encargos de investimento, custos de operação, complexidade e eficiência dos processos, robustez e flexibilidade do sistema, manutenção, possibilidade de expansão ou beneficiação, quer quanto à reutilização propriamente dita, devendo esta ser suportada pela realização prévia de ensaios experimentais.

Os exemplos de aplicação de membranas na reciclagem de água no sector têxtil são muito diversos, abrangendo essencialmente as etapas do processo de enobrecimento com elevado consumo de água e as operações em que é viável a recuperação de produtos, como nos exemplos descritos no ponto 2.1.

Não pretendendo de forma alguma fazer uma descrição exaustiva da aplicação das técnicas de membranas na reciclagem da água, para além dos casos apresentados na secção relativa à recuperação de produtos, em que simultaneamente com a recuperação poder-se-à reciclar a água resultante do permeado seleccionaram-se alguns exemplos de reciclagem da água que se consideram representativos.

A reciclagem da água resultante das lavagens em processos de enobrecimento da lã e do algodão foram objecto de variados estudos, tendo-se em alguns casos instalado sistemas em empresas têxteis que permitem trabalhar em sistema fechado, isto é recuperando completamente os efluentes utilizados (19-21).

A utilização de membranas de nanofiltração para recuperar a água quente das lavagens do tingimento com corantes directos e reactivos tem sido amplamente investigada. Os ensaios realizados com membranas planas resistentes a pressões de 10 bar e temperaturas médias de 60°C e com taxas de rejeição do corante directo superiores a 99%, demonstraram a possibilidade de reciclar água do permeado (22-24).

Na estamparia a água de lavagem do tapete de estampar e dos contentores da pasta de estampar, contaminada com pigmentos e pasta de estampar, apresenta uma elevada carência química em oxigénio e cor intensa. As membranas de ultrafiltração podem remover a cor e a pasta de estampar residual, obtendo-se um permeado que poderá ser reutilizado novamente na lavagem do tapete da máquina de estampar. O concentrado deverá ser submetido a um tratamento posterior.

Quando da aplicação das membranas para a reciclagem da água deparamo-nos com um concentrado que não podendo ser reutilizado apresenta uma elevada carga poluente, na maioria dos casos associada a uma coloração intensa. As características físico-químicas do concentrado não estão de acordo com as normas de descarga dos efluentes devendo ser submetidos um tratamento antes de lançados nos meios receptores.

1.3 Tratamento de água

As técnicas de separação por membranas podem ser utilizadas quer para tratar a água a ser alimentada à empresa quer no tratamento de águas resultantes dos processos produtivos.

Como exemplo do primeiro caso encontramos o amaciamento da água por nanofiltração, utilizada como alternativa à troca iónica. Esta técnica tem a vantagem de eliminar simultaneamente os resíduos de substâncias que conferem cor à água e interferem no processo de tingimento. Uma outra vantagem é a baixa manutenção, não ser necessário a regeneração, e o reduzido volume de efluente gerado. Como inconvenientes do processo podem ser mencionados a necessidade de lavagem das membranas e o decaimento do fluxo de permeado.

Relativamente ao tratamento de águas resultantes dos processos produtivos as técnicas de membranas comercialmente disponíveis, a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose inversa são utilizadas correntemente. Nos processos com membranas o efluente é pressionado num módulo de modo a que a água e as pequenas moléculas atravessem a membrana originando o permeado, purificado, e um concentrado ou retido com elevada concentração em poluentes.

Quando o tratamento por tecnologias de membranas tem lugar em instalações da própria empresa, quer por imposições legais quer por opção do próprio industrial, a reciclagem do permeado deve ser sempre equacionada. Instalações deste tipo quando

aplicadas ao sector têxtil, em condições adequadas permitem obter uma água em conformidade as características mínimas necessárias ao processo, tabela 1.

Os exemplos de instalações de tratamento com membranas em empresas têxteis são múltiplos sendo na maioria dos casos reciclado o permeado.

Na tabela 2 é apresentado o resultado da aplicação dum sistema com micro e nanofiltração no tratamento de três tipos de efluentes do sector têxtil.

Tabela 2: Tratamento de efluentes da industria têxtil por técnicas de membranas

Tipo de efluentes	Técnicas	Resultados
Efluentes de descolagem	Microfiltração seguida de nanofiltração	Diminuição da CQO em 90%
Banhos residuais de tingimento	Microfiltração seguida de nanofiltração	Diminuição da CQO em 90%, descoloração, filtrado límpido e isento de sólidos suspensos
	Ultrafiltração seguida de osmose inversa	Remoção da cor de 95 a 100% independentemente o tipo de corante usado, remoção de sais dissolvidos.
Efluente do decantador/flotador após tratamento físico-químico ou biológico	Microfiltração seguida de nanofiltração	Diminuição da CQO em 95%. Muito boa descoloração

As principais desvantagens desta tecnologia quando aplicada ao tratamento de efluentes são:

- A existência de uma fracção do efluente que não é tratado, denominado concentrado ou retido.
- Necessidade de tratamento do concentrado.
- A degradação das membranas.
- Elevados custos de investimento e de manutenção.
- A não remoção de espécies iónicas na micro e ultrafiltração, as mais utilizadas no tratamento dos efluentes.

O concentrado, com elevada carga poluente e cor intensa devido ao elevado teor em corantes orgânicos, tem de ser submetido a um tratamento posterior.

Como vantagens do processo podem-se citar a disponibilidade de uma água com características que se mantém constantes ao longo do tempo e a redução no consumo de água fresca.

Em geral a utilização das tecnologias de membranas no tratamento de efluentes tem como objectivo a afinação de um tratamento tradicional de coagulação floculação seguida de decantação ou flotação, ou do tratamento biológico por lamas activadas. Estes tratamentos clássicos não removem completamente a cor dos efluentes têxteis, podem aumentar o teor em sólidos dissolvidos e a redução a nível da carência química

em oxigénio é no máximo de 80%, conduzindo na maioria dos casos a uma água que não pode ser reutilizada indiscriminadamente numa empresa têxtil.

Assim, a utilização de membranas em combinação com os processos de tratamento físico/químicos ou biológicos pode ser a via seleccionada para reciclar parcialmente o efluente global da empresa (25-27). Os factores que limitam esta estratégia são a gestão/tratamento do retentado devido ao elevado teor em sais, o sujamento, entupimento e polarização da concentração associados à durabilidade das membranas.

A associação do tratamento biológico com membranas conduziu aos denominados bioreactores a membranas que podem apresentar duas configurações, membranas submersas no tanque de tratamento biológico para separar as lamas activadas do permeado (a) ou membranas no exterior do tanque biológico (b), com mostrado na figura 2.

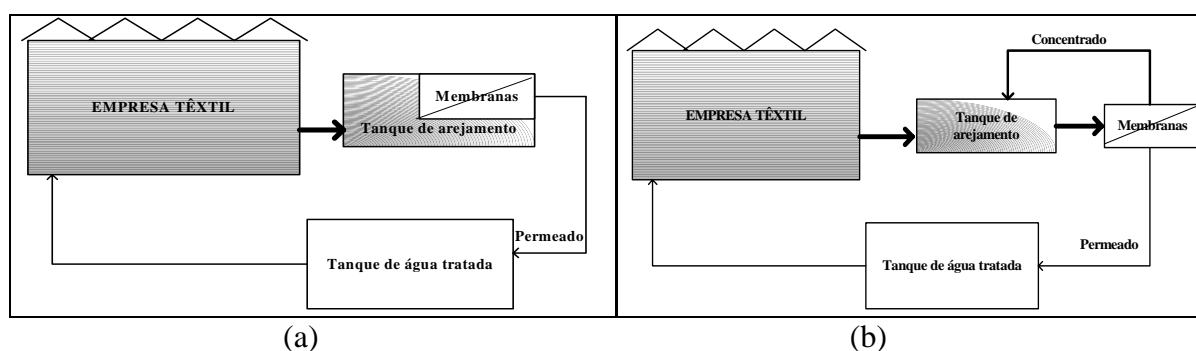


Figura 2: Esquema de sistema de tratamento com duas configurações de bioreactor a membranas.

A exploração desta via no tratamento de efluentes da indústria têxtil é o propósito de vários grupos de investigação (28-30) utilizando um sistema de lamas activadas tradicional na degradação dos poluentes ou sistemas com enzimas e/ou fungos que tem por objectivo a degradação dos corantes azo (31).

A grande vantagem da utilização do bioreactor a membranas está na degradação e separação simultânea eliminando-se assim o concentrado e a necessidade da instalação de um sistema para o seu tratamento.

2. MODIFICAÇÃO DE MEMBRANAS

Na utilização de membranas para purificar água somos confrontados com problemas de colmatagem irreversível que provocam uma diminuição significativa no fluxo de permeado. Uma das formas de prevenir essa colmatagem é a modificação de membranas orgânicas ou inorgânicas com polímeros.

Em ensaios realizados no Laboratório de Águas e Polímeros do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho demonstrou-se que a modificação de membranas com geis de polímeros apresentam boas características de prevenção da colmatagem (anti-fouling) quando comparadas com membranas convencionais não

modificadas, conseguindo-se em alguns casos a recuperação do fluxo de água inicial após lavagem da membrana.

Em simultâneo com a redução da colmatção pode ser obtido um aumento da selectividade da membrana, tal como se mostra na figura 3. Neste caso, o tratamento de membranas orgânicas de ultrafiltração com polímeros hidrofílicos adequados, nomeadamente o poli(álcool de vinilo) permite aumentar a selectividade para corantes reactivos. Em ensaios de filtração com soluções de corante Preto Remazol B com uma membrana orgânica de polietersulfona com carga neutra, com limite nominal de exclusão molecular de 30000 daltons (PM 30 da Amicon) e com a membrana tratada com poli(álcool de vinilo), verifica-se um aumento da percentagem de rejeição para a membrana modificada que é acompanhada pela diminuição do fluxo de permeado. Um outro factor que afecta a rejeição é o pH. Na figura 3 são apresentadas as percentagens máximas de rejeição com corante obtidas para os ensaios com e sem tratamento da membrana com polímeros com massas moléculares de 8000 e 30000 dalton a dois valores de pH, 5,9 e 9,2.

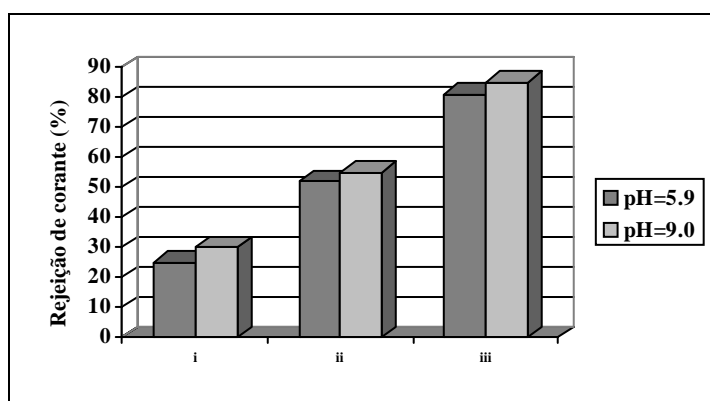


Figura 3: Percentagens máximas de rejeição de corante (%) obtidos para os ensaios com e sem tratamento da membrana a pH 5.9 e 9.0 para: i – sem tratamento da membrana, ii – membrana tratada com polímero de massa molecular 8000, iii – membrana tratada com polímero de massa molecular 30000 dalton.

Uma outra alternativa é a modificação das membranas através da imobilização de enzimas de forma a ter em simultâneo uma filtração e degradação dos constituintes indesejáveis, nomeadamente dos corantes presentes nas águas residuais. Esta solução tem sido objecto de vários projectos não se tendo-se mostrado, até à presente data como, uma solução eficiente para a remoção da cor em efluentes globais do sector têxtil.

3. CONCLUSÕES

Como resultado da aplicação dos processos com membranas pode-se destacar a redução do consumo de matérias primas, água e energia, redução da carga poluente rejeitada e redução de resíduos sólidos gerados, a um custo ambientalmente aceitável.

Inicialmente, devido ao elevado custo das membranas e reduzido tempo de vida, a adopção de técnicas de separação com membranas na têxtil foi lenta, contudo hoje

observa-se um aumento do custo do tratamento de efluentes acompanhado de um decréscimo significativo no custo das membranas e um aumento do tempo de vida destas o que tem levado a um crescimento significativo de sistemas de tratamento com membranas, sendo relatado na literatura que o tempo de amortização destes sistemas varia entre 0.5 a 3 anos. Desta forma pode afirmar-se que a utilização de membranas para reciclar água e recuperar energia e produtos químicos no sector têxtil é uma realidade. Contudo a selecção do sistema de membranas a instalar deve ser suportada pela realização prévia de ensaios experimentais dado que os sistemas no domínio da reciclagem e tratamento não garantem a reprodutividade total dos resultados. Após a instalação da unidade de tratamento, ensaios de simulação podem ser importantes para avaliar a resposta do sistema a alterações nas características da alimentação resultantes de modificações sazonais observadas nas empresas têxteis.

4. REFERÊNCIAS

- (1) A. H. Little, Water Supplies and the Treatment and Disposal of Effluents. Manchester: The Textile Institute Monograph Series, 1975.
- (2) K. Skelly, "Water recycling", Rev. Prog. Coloration, vol.30, pp. 21-33, 2000.
- (3) J.J. Porter, D.E. Black, American Dyestuff Reporter December, 46, 1979.
- (4) J.E. Morejand, Book of Pappers from AATCC Warp Sizing Handbook, 1988.
- (5) J.J. Porter "Recovery of polyvinyl alcohol and hot water from the textile wastewater using thermally stable membranes" Journal of Membrane Science, 151, pp.45-53, 1998.
- (6) J. Trauter, H. Bottle, "The recovery of polyacrylate size using ultrafiltration membranes" Mellind English, vol. 4, pp. E 132-E 135, 1992.
- (7) J. Trauter, "Technological and economic aspects of recycling sizing agents" Mellind English, vol. 1, pp. E8, 1990.
- (8) J. Trauter, "Use of ultrafiltration for recycling sizing agents and indigo", Mellind English, vol. 6, pp. E 227- E229, 1993.
- (9) J. Trauter, H. Bottle, K. Gotz, T. Stegmaier, R. Vailon, "New developments by ITP Denkendorf in the field of warp sizing", Mellind English, vol. 1, pp. E4, 1990.
- (10) A. Bayazeed, J. Trauter, "Investigation on changes in physical and technological properties of water soluble sizing agents during the ultrafiltration process" Textil Praxis Internationan, Marz, pp. XVI-XIX, 1992.
- (11) Pollution Research Group, Department of Chemical Engineering University of Natal, "A guide for the planning, design and implementation of wastewater treatment plant in the textile industry" University of Natal Durban, Republic of South Africa, <http://www.und.ac.za/und/prg/publications/texguid/guide1h.html>.
- (12) M. T. Pessoa de Amorim, "Recovery of Polyvinyl Alcohol from Textile Wastewaters - A Case Study" in New Developments in Industrial Wastewater Treatment. NATO ASI Series, Klumer Academic Publishers, ISBN 0-7923-1070-5. pp. 175-182, 1991.
- (13) J.F. Bassetti, L. Peres, J.C.C. Petrus, "Recuperation of polyvinyl alcohol (PVA) through microporous membranes", Latin American Applied Research, vol.5 pp. 547-550, 2001.
- (14) A. Sarmento, "Aplicação das tecnologias de membranas na Indústria Têxtil". Perfil, pp.36-41, 2002.

- (15) A. Caetano, M.N. Pinho, E. Drioli, H. Muntau, *Membrane Technology: Applications to Industrial Wastewater Treatment*. Environmental Science and Technology, Kulmer Academic Publishers, 1995.
- (16) E.J. Son, E.K. Choe, J.W. Kim, "Nanofiltration membrane technology for caustic soda recovery", *Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter*, vol: 32 (3) pp 46-52, 2000.
- (17) P. Moulin, M. Maisseau, "Valorisation des effluents", *L'Industrie Textile*, vol. 1345/55, pp. 112-115, 2003.
- (18) C. Allègre, P. Moulin, F. Charbit, M. Maisseau, M. Golder. *Traitement des bains de teinturerie en vue de la réutilisation de l'eau et du NaCl dans le procédé*. Patente n° FR 0211363.
- (19) T. Bilstad, T. Espedal, E. Madland, "Membrane separation of wool scour effluents", *Wat. Sci. Tech.*, vol.29, pp. 251-256, 1994.
- (20) K. Treffry-Goatley, C.A. Bruckley, G. R. Groves, "Closed loop treatment and recycle of cotton: synthetic dyehouse effluents", *Symposium of New technologies for cotton*. Port Elizabeth, South Africa, July 26-28, Textile Institute, SAWTRI, 1982.
- (21) J.P. van't Hul, I.G. Rácz, T. Reith, "The application of membrane technology for reuse of process water and minimisation of waste water in a textile washing range", *JSDC*, vol. 113, pp 287-294, 1997.
- (22) A. Sungpet, R. Jiraratananon, P. Luangsoan, "Treatment of effluents from textile-rising operations by thermally stable nanofiltration membranes" vol.1, pp. 75-81, 2004.
- (23) M. Jhavar, C. Bartels, S. Chileker, " UF technology contributes to the recycling of dye salt solution", *Filtration and Separation*, vol. 10, pp. 20-21, 2003.
- (24) A. Akbari, A. Remigy, P. Aptel, "Treatment of textile dye effluent using a polyamide-based nanofiltration membrane", *Chemical Engineering and Processing*, vol. 41, pp. 601-609, 2002.
- (25) A.Bes-Piá, J.A. Mendonza-Roca, M.I. Alcaina-Miranda, A.Iborra-Clar, M.I. Iborra-Clar, "Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physico-chemical treatment and membrane technologies", *Desalination*, vol.149, pp. 169-174, 2002.
- (26) C. Tang, V. Chen, "Nanofiltration of textile wastewater for water reuse", *Desalination*, vol. 143, pp. 11-20, 2001.
- (27) A. Rozzi, M. Antonelli, M. Arcari, "Membrane treatment of secondary textile effluents for direct reuse", *Wat. Sci. Tech.*, vol. 40, n. 4-5, pp. 409-416, 1999.
- (28) A. Rozzi, F. Malpei, R. Bianchi, D. Mattioli, "Pilot-scale membrane bioreactor and reverse osmosis studies for direct reuse of secondary textile effluents", *Wat. Sci. Tech.*, vol. 41, n. 10-11, pp. 189-195, 2000.
- (29) F. Marpei, L. Bonomo, A. Rozzi, "Feasibility study to upgrade a textile wastewater treatment plant by a hollow fiber membrane bioreactor for effluent reuse", *Water Science and Technology*, vol.10, pp. 33-39, 2003.
- (30) M. Andersen, G.H. Kristensen, M. Brynjolf, H. Gruttner, "Pilot-scale testing membrane bioreactor for wastewater reclamation in industry laundry", *Water Science and Technology*, vol. 46 (4-5), pp. 67-76, 2002.
- (31) C. Lopez, M.T. Moreira, G. Feijoo, J.M. Lema, "Dye decolorization by manganese peroxidase in a enzymatic membrane bioreactor", *Biotechnology Progress*, vol.20 (1), pp. 74-81, 2004.

ENDEREÇO / ADDRESS

M T Pessoa de Amorim
Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães
Portugal
e-mail: mtamorim@det.uminho.pt